

21834 (5)

# EUROPEAN PATENT OFFICE

## Patent Abstracts of Japan

PUBLICATION NUMBER : 09266646  
PUBLICATION DATE : 07-10-97

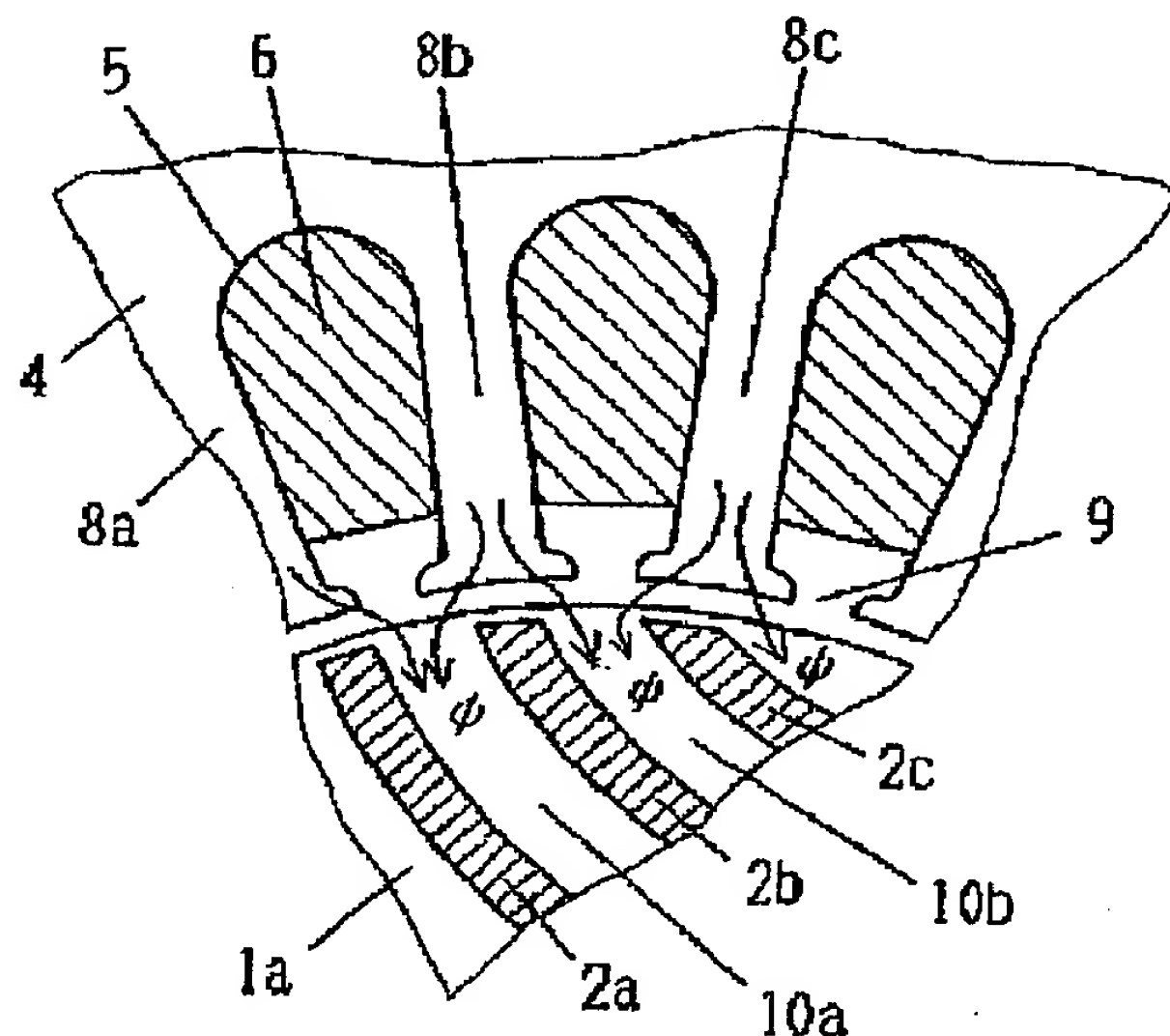
APPLICATION DATE : 18-03-96  
APPLICATION NUMBER : 08101822

APPLICANT : AICHI EMERSON ELECTRIC CO LTD;

INVENTOR : TAKAHASHI TOMOFUMI;

INT.CL. : H02K 1/27 H02K 29/00

TITLE : BRUSHLESS DC MOTOR



ABSTRACT : PROBLEM TO BE SOLVED: To utilize the reluctance torque of a rotor effectively, by a method wherein permanent magnets of which respective rotor poles are composed are arranged with spacings at least larger than the opening widths of the slots of a stator.

SOLUTION: In a rotor core 1a made of high permeability magnetic material, one pole is composed of 3 permanent magnets 2a, 2b and 2c. 4 groups of such permanent magnets are arranged in quadrants to constitute a 4-pole rotor. Stator coils are wound in a plurality of slots 5 in a stator core 4. If the widths of the rotor core parts 10a and 10b between the permanent magnets 2a, 2b and 2c are larger than the widths of the slot openings of the stator, the parts 10a and 10b face some of the tooth parts of the stator with shortest air gap distances without fail, so that a reluctance torque can be utilized effectively, flux  $\psi$  can pass easily, and stable magnetic paths can be formed.

COPYRIGHT: (C)1997,JPO

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-266646

(43) 公開日 平成9年(1997)10月7日

(51) Int. Cl.<sup>6</sup>

H02K 1/27  
29/00

識別記号

501

片内整理番号

P I

H02K 1/27  
29/00

501A

Z

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数6 書面 (全7頁)

(21) 出願番号

特願平8-101822

(22) 出願日

平成8年(1996)3月18日

(71) 出願人 000100872

アイチーエマソン電機株式会社

愛知県春日井市愛知町2番地

(72) 発明者 高橋 伴文

愛知県春日井市愛知町2番地 アイチーエ

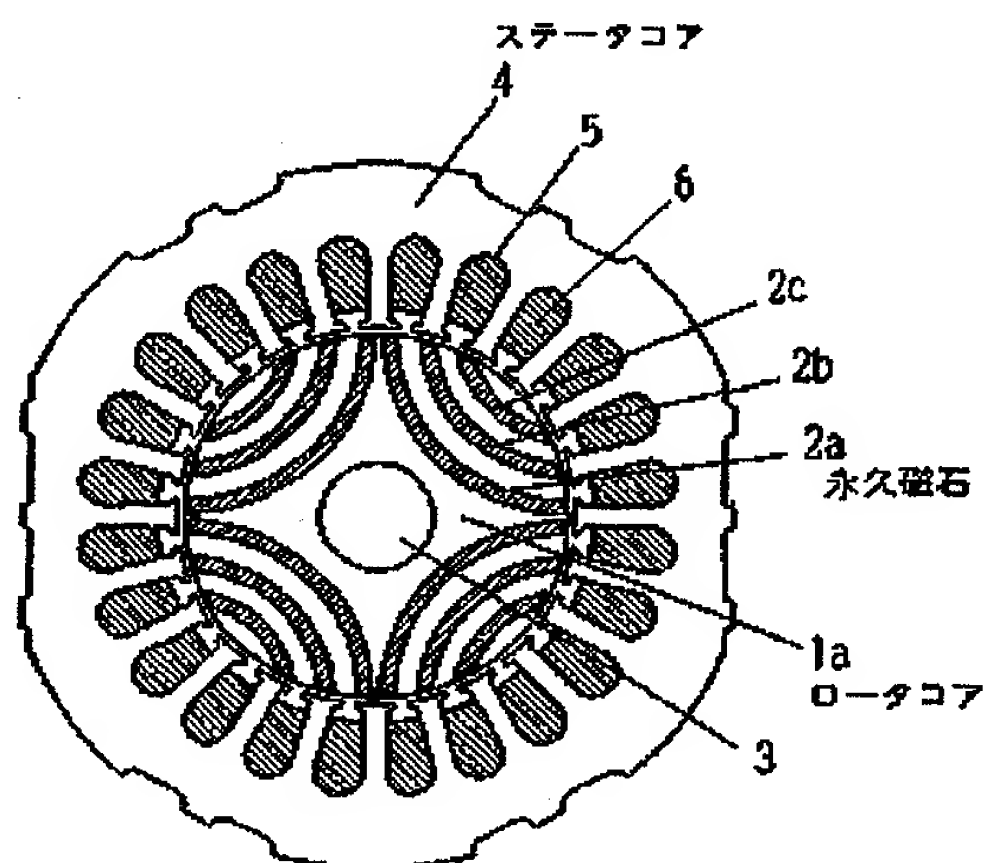
マソン電機株式会社内

(54) 【発明の名称】 ブラシレスDCモータ

(57) 【要約】

【目的】 ロータコア1a中に永久磁石2a, 2b, 2cが1極当たり複数個内蔵されるようにしたブラシレスDCモータにおいて、リラクタンストルクを大きくするとともに、その調整を容易にする。

【構成】 同一磁極を形成するロータ軸心側に配される永久磁石とロータ外周側に配される永久磁石とを、少なくともこのロータと対向するステータのロットオープニング幅以上の間隔をもたせて配置する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 ロータコア中に永久磁石が1極当たり複数個内蔵されるようにしたブラシレスDCモータにおいて、同一磁極を形成するロータ軸心側に配される永久磁石（以下内側磁石と称す）とロータ外周側に配される永久磁石（以下外側磁石と称す）とを、少なくともこのロータと対向するステータのスロットオープニング幅以上の間隔をもたせて配置したことを特徴とするブラシレスDCモータ。

【請求項2】 前記内側磁石と前記外側磁石との間にロータコア以外の磁性材料を介在させたことを特徴とする請求項1に記載のブラシレスDCモータ。

【請求項3】 前記内側磁石と前記外側磁石との間隔が一定であるように構成したことを特徴とする請求項1または2に記載のブラシレスDCモータ。

【請求項4】 同一磁極を形成する全ての永久磁石が、ロータ軸心と当該磁極中央をラジアル方向に結ぶ線と平行な方向に磁気配向されていることを特徴とする請求項1～3のいずれかに記載のブラシレスDCモータ。

【請求項5】 同一磁極を形成する全ての永久磁石が、ロータ軸心と当該磁極中央をラジアル方向に結ぶ延長線上であって、少なくとも焦点がロータ外周面より外側となる方向に磁気配向されていることを特徴とする請求項1～3のいずれかに記載のブラシレスDCモータ。

【請求項6】 同一磁極を形成する複数の永久磁石の磁気配向の焦点が各永久磁石相互で異なっていることを特徴とする請求項5に記載のブラシレスDCモータ。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、ロータ内部に永久磁石を埋め込んで配置した構成のブラシレスDCモータに関する。

## 【0002】

【従来の技術】ロータ内部に永久磁石を埋め込んで構成するインテリア・パーマネントマグネットモータ（以下IPMと略す）は、従来、図11及び図12のように構成されている。即ち、IPMの極数と同数の磁極数とすべく、永久磁石2p、2q、2r、2sまたは2t、2u、2v、2wをロータ内部にはほぼ等配に配して構成している。埋め込まれる永久磁石は、通常、IPMが運転されている状態において、ステータ側からの起磁力に対して減磁もしくは脱磁が生じないような十分な耐力を保有させるべく十分厚く形成される。一方、永久磁石を埋め込むべきロータのハウジング部1dまたは1eは、通常高透磁率材料が使用され、埋め込まれた永久磁石の磁束がステータとロータ間のエアギャップを介して磁路を形成する。この場合、ロータの相隣り合う異極の永久磁石間の漏れ磁束を最小限にしてモータとしてのトルクに有効な磁束量を少しでも多く確保すべく、永久磁石の極間幅 $\delta t1$ や $\delta t2$ 、そして永久磁石の端部とエアギャ

ップ間の磁路幅 $\delta s1$ や $\delta s2$ を極力狭くするようにしている。

【0003】さて、IPMではロータの外周部にケイ素鋼板のような高透磁率の磁性材料を有するため、同容量のモータでサフェイス型の永久磁石ロータ（永久磁石の飛散防止部材を除いてロータ最外周部に永久磁石を配した構造）を有するモータに比べてステータ巻線のインダクタンスが大きく、モータを駆動する際の印加電圧位相に対する電流の位相遅れが顕著になる。これを避けるために、一般的に、正規のロータ位置に対する所定の相の通電を進ませる進み角通電制御が行われる。また、IPMロータの構造上生じる永久磁石とエアギャップ間に介在する磁性材料に着目し、積極的に前記の進み角通電制御を行って、本来の永久磁石によるd軸（ロータ磁極中央とロータ回転軸中心Oを結ぶ方向）に対応する位相電流のトルクに加え、これと直交方向のq軸に対応する位相電流によって生じるリラクタンストルクを利用することが行われる。

## 【0004】

【発明が解決しようとする課題】上記従来構造のIPMのロータにおいては、相隣り合う磁極間において、リラクタンストルクを有効に利用するためのq軸方向用磁束経路が十分確保されない。即ち、図11、図12において、永久磁石の漏れ磁束を極力少なくするために、極間幅 $\delta t1$ 、 $\delta t2$ 端部外周磁路幅 $\delta s1$ 、 $\delta s2$ を狭くする故に、図11における $\theta d1$ 図12における $\theta d2$ なる角度に対応するロータ外周部分がリラクタンストルク用磁路として有効に作用しないことになる。しかも、この部分はロータの全ての磁極間に生じる。このリラクタンストルク用磁路の非有効角 $\theta d1$ もしくは $\theta d2$ は、ステータ起磁力による永久磁石の減磁もしくは脱磁に対する耐力を上げようとする場合、幾何学的にさらに大きくなることは必然である。

【0005】別の問題として、上記の非有効角 $\theta d1$ や $\theta d2$ というのは、ロータ磁極としてとらえると永久磁石からの磁束がステータへ通るための経路として有効に作用しない部分であり、IPMとしてステータとロータが組み合わされた場合のエアギャップ磁束 $\Phi$ の分布は図13の如く極めて歪みの多い分布となり、発生する線間の誘起電圧 $v$ は第3調波を多く含んだものとなる。このようなモータにおいては、音や振動が大きくなる。

## 【0006】

【課題を解決するための手段】本発明は、IPMとしてのロータのリラクタンストルクを有効に利用できるようにし、音や振動を低減したものであり、ロータコア中に永久磁石が1極当たりラジアル方向に複数個分割して内蔵されるようにしたブラシレスDCモータにおいて、同一磁極を形成するロータ軸心側に配される永久磁石（以下内側磁石と称す）とロータ外周側に配される永久磁石（以下外側磁石と称す）とを、少なくともこのロータと

対向するステータのスロットオープニング幅以上の間隔をもたせて配置したことを特徴とするものである。

【0007】第2の発明としては、前記内側磁石と前記外側磁石との間にロータコア以外の磁性材料を介在させたことを特徴とする。また第3の発明としては、前記内側磁石と前記外側磁石との間隔が一定であるように構成したことを特徴とする。

【0008】第4の発明としては、上記第1～3のいずれかの発明において、同一磁極を形成する全ての永久磁石が、ロータ軸心と当該磁極中央をラジアル方向に結ぶ線と平行な方向に磁気配向されていることを特徴とする。第5の発明としては、上記第1～3のいずれかの発明において、同一磁極を形成する全ての永久磁石が、ロータ軸心と当該磁極中央をラジアル方向に結ぶ延長線上であって、少なくとも焦点がロータ外周面より外側となる方向に磁気配向されていることを特徴とする。また第6の発明としては、上記第5の発明において、同一磁極を形成する複数の永久磁石の磁気配向の焦点が各永久磁石相互で異なっていることを特徴とする。

【0009】

【作用】上記第1の発明においては、ロータの回転に伴うステータコイルのインダクタンスの変化が、スロットオープニングに起因するリップルが少なくなるとともに、最大と最小の幅が大きいものとなり、q軸電流によるリラクタンストルクを大きくすることができる。

【0010】上記第2の発明においては、ロータコアとの間に大きなガタを生じることなく永久磁石を装着することができるとともに、高透磁率、高周波特性、高飽和磁束密度等の特性を有する磁性材料を選択採用することができる。また上記第3の発明においては、q軸成分の電流による磁束経路を有効に確保する作用がある。

【0011】また上記第4～第6の発明においては、エアギャップにおける磁束分布をIPMの使用目的に適した分布にするための設計操作が容易となる。

【0012】

【実施例】図1において、1aは高透磁率の磁性材よりなるロータコアであり、永久磁石2a、2b、2cのハウジングを形成し、中心部にシャフト3が嵌入されている。永久磁石2a、2b、2cはこの3個で1極を形成しており、この3個の永久磁石群が4等配で配置されて4極構造のロータが構成されている。4は複数のスロット5を有するステータコアであり、スロット5にはステ

$$\alpha = \frac{L_{\max} - L_{\min}}{L_{\max} - L_{\min}} + L_{\min} \quad \dots (1)$$

【0016】上記係数 $\alpha$ が大きいほど、リラクタンストルクが大きいとされている。従って図1～図3の実施例の如く、同一磁極を形成する内側磁石と外側磁石との間に介在する磁性材料幅を少なくともステータのスロット

ロータコイル6が装着されている。図2は図1のモータの要部を拡大したものであり、Dr1は永久磁石2aと2bとの間に介在するロータコア1aの幅を示し、同様にDr2は永久磁石2bと2cとの間に介在するロータコア1aの幅を示している。またDsはステータコア4のスロットオープニング幅を示している。本発明においては、上記Dr1及びDr2の値はともにDsよりも大きく設定され、好ましくはステータコア4のスロットピッチ角度に対応するロータ外周の対向幅以上とするのがよい。

【0013】図3は図2をさらに拡大して示すものであり、8a、8b、8cはステータコア4のティース部、 $\psi$ はステータコイルの起磁力による磁束を示している。永久磁石2a、2b、2cの相互間に介在するロータコア部10a、10bの幅がステータのスロットオープニング9の幅より広ければ、この部分10a、10bが必ずいずれかのティース部と最短のエアギャップ距離で対向することになり、磁束 $\psi$ が通り易くなるとともに安定した磁路を形成することができ、この結果磁束 $\psi$ は大きく安定したものとなる。このことは、ステータコイル側から測定される巻線インダクタンスによって容易に確認できる。

【0014】図4はロータの回転角度 $\theta$ に対する任意のステータコイル端子間のインダクタンスLを示したものである。この図において、永久磁石相互間に介在するロータコア部10a、10bのステータ対向面における幅、即ちDr1、Dr2が、曲線Laはステータのスロットピッチ角度にほぼ等しい場合、曲線Lbはスロットオープニング幅にほぼ等しい場合、また曲線Lcはスロットオープニング幅より狭い場合をそれぞれ示している。図4からも明らかなように、Laのインダクタンスの変化はステータスロットオープニングに起因するリップルが少なく、最大と最小の幅が大きいものに対し、Lcの場合はリップルが大きく、インダクタンスの平均最大と平均最小幅が小さくなっている。またLbはLaとLcの中間となっている。リラクタンストルクの発生を決定するものとして、インダクタンスLの変化がほぼ正弦波に近い場合、インダクタンスの平均最大 $L_{\max}$ と平均最小 $L_{\min}$ から求まる $\alpha$ なる係数がリラクタンストルクの解析において周知である。

【0015】

【数1】

することにより、q軸電流によるリラクタンストルクを大きくすることができるのである。

【0017】上記本発明の説明において、同一磁極における相隣り合う永久磁石間に介在する磁性材料幅をロータ外周におけるステータとの対向幅を基準にして考えた



が、IPMとしてq軸成分の電流による磁束経路を有効に確保するためには、ロータ内におけるこの幅、即ち図2にDr1、Dr2で示す幅は一定にされているのが好ましい。但し実際の設計の課程においては、機械的に変更を必要とされる設計上の都合等により、幾何学的に可能な範囲内でロータ内部において広くしたり狭くしたりしても構わない。これによって図4におけるロータ回転角 $\theta$ に対するインダクタンスLの変化において、ステータスロットオープニングに起因するリブの影響を小さくしたまま、インダクタンスLの変化の振幅を大きくしたり小さくしたりすることができ、リラクタンストルク成分を任意に調整することができる。

【0018】図1～図3の実施例においては、ロータコア1a内に永久磁石2a、2b、2cを埋め込んだ構成となっているため、同一磁極における相隣り合う永久磁石間にはロータコア材であるケイ素鋼板等の磁性材料が介在する構成となっているが、この相隣り合う内側磁石と外側磁石との間には別の磁性材料を介在させてもよく、一例を図5に示す。図5において、7は永久磁石2aと2bとの間に挿入した無方向性の磁性材料であり、その他の構成は図1～図3の実施例と同様である。図5に示すロータコア1bの場合は永久磁石2a、2b及び磁性材料7を一緒に挿入するための大きな収容孔が設けられることになるため、永久磁石2a、2bの仕上がり精度のばらつきを磁性材料7の厚み寸法を調節することによって吸収することができ、ロータコア1bとの間に大きなガタを生じることなく永久磁石2a、2bを装着することができる。また図5のように構成すれば、主たるロータコア材1bには比較的強度の高い磁性材を用いてロータの回転に伴う遠心力による変形に対応し、永久磁石2a、2b間にはさらに高透磁率の磁性材料を用いて磁路の磁気抵抗を低減させたり、高周波特性の良好な磁性材料や、飽和磁束密度の高い磁性材料を用いる等、機械的強度をあまり気にせず選択採用することができる。また磁性材料7は図5の例に限定されるものではなく、永久磁石2aと2b間、または2bと2c間、またはその両方同時に介在させるように構成してもよいことは勿論である。

【0019】また本発明の実施例では同一磁極を形成する永久磁石の個数を3個としているが、これに限定されるものではなく、2個以上であれば本発明の構成が得られることは明らかである。このように同一磁極を形成する永久磁石を複数にして構成することは、各々の永久磁石に各々異なる特性を有するものを採用することもできる。従来のIPMロータにおいては、1個の磁極に対して1個の永久磁石を使用しており、磁石材料の配向方向もラジアルか平行のいずれかを選択するのみであって、永久磁石が決定されるとその寸法と固有特性とモータ構成上のパーミアンスとによってステータとロータ間の磁束量や分布が決定されてしまう。その結果、エアギャッ

プにおける磁束分布は前述の図13に従って説明した通りとなっていたものである。

【0020】図6～図8はそれぞれ本発明の別の実施例を示し、永久磁石の磁気配向の例を示している。図6は、同一磁極を形成する永久磁石2d、2e、2fが、ロータ軸心と当該磁極中央をラジアル方向に結ぶ線P-Pと平行な方向に磁気配向された例を示している。永久磁石2d、2e、2fを有する磁極以外の磁極も同構成となっており、図中矢印で示される磁気配向を有し、周方向にNS交互に着磁されて全体で4等配4極の磁極を構成している。

【0021】図7は、同一磁極を形成する永久磁石2g、2h、2iが、ロータ軸心と当該磁極中央をラジアル方向に結ぶ延長線Q-Q上であって、少なくとも焦点がロータ外周面より外側となる点Q1となるように磁気配向された例を示している。永久磁石2g、2h、2iを有する磁極以外の磁極も同構成となっており、図中矢印で示される磁気配向を有し、周方向にNS交互に着磁されて全体で4等配4極の磁極を構成している。また図8は、図7の実施例の変形例を示しており、同一磁極を形成する永久磁石2j、2k、2lの磁気配向の焦点が、磁石2lの焦点がR1、磁石2kの焦点がR2、磁石2jの焦点がR3というように、外側磁石2lから内側磁石2jへ向けて順にロータ軸心から遠ざかる方向にあるように構成した例を示している。

【0022】これら図6～図8の各々のいずれの場合も、ロータに配された永久磁石の磁束は、ラジアル方向に配されたロータの磁性材を通して、ロータ外周面と対向するステータティースに流れる。このとき、前述のように、同一磁極を形成する内側磁石と外側磁石との間の磁性材がステータのスロットオープニング幅以上の間隔を有しているため、少なくとも最短のエアギャップ距離でもって対向し得る領域が存在することになるので、永久磁石の磁束を効果的に導くことができる。結果として、図11や図12に示される従来のロータが図13の如く局部的に矩形波状のエアギャップ磁束分布となるのに対し、図6～図8のロータにおいては、図9に示すように、図6の場合がBa、図7の場合がBb、図8の場合がBcの如く分布する。図9において、槽軸lgはエアギャップ中央における円周方向距離である。

【0023】図6の実施例では、永久磁石の磁気配向が平行であるので、各永久磁石のラジアル方向外側の磁性材を通して直接ステータティースに向かう磁束は、磁気配向に対して90°もしくはそれ以下の角度で曲がって向かうことになる。図7の実施例では、永久磁石の磁気配向が例えば焦点Q1に向かう方向であるので、永久磁石のラジアル方向外側の磁性材を通して直接ステータティースに向かう磁束は、図6の平行配向の場合に比べ比較的大きく曲がって向かわなくてはならない。それゆえ各々の永久磁石から磁性材を介して直接ステータへ向か

う磁束量が低下し、エアギャップの磁束分布は図9に示すBaとBbの違いとなって現れる。図8の実施例の場合は、図6及び図7の説明から明かなように、内側磁石に関しては図6のものと類似した傾向、外側磁石に関しては図7のものと類似した傾向で作用し、それによるエアギャップの磁束分布は図9に示すBcの如くなることは容易に理解されるであろう。

【0024】また図8の実施例の場合は、同一磁極を構成する永久磁石の磁気配向を外側磁石より内側磁石がより遠くにその焦点を持つようにするのではなく、磁極中心線上の任意の点で相互に異ならせることにより、エアギャップにおける磁束分布をIPMの使用目的に応じて変更することがより容易となる。このように図6～図8の実施例に示すように、永久磁石の磁気配向を種々設計操作することにより、エアギャップにおける磁束分布が変更可能となり、例えば磁束分布を正弦波に近づけることによって騒音や振動を低減したり、あるいは120°通電を行うモータにおいて、該通電領域のみ誘起電圧が高くなるような磁束分布とすることによってモータ効率を向上させたりすることが容易となる。

【0025】図10は本発明のさらに別の実施例を示すものであり、図1に示した1極を形成する円弧状の永久磁石2a、2b、2cに代えて、コの字状の永久磁石2m、2n、2oによって構成したものであり、図1に示したものと何ら変わりなく本発明の構成が適用可能である。またこれらの形状に限らず、極端な場合は、平板状の永久磁石を平行配列して組み合わせて構成したもののにおいても本発明の適用効果は大いに期待できる。

【0026】

【発明の効果】本発明は、ロータコア中に永久磁石が1極当たりラジアル方向に複数個分割して内蔵されるようにしたブラシレスDCモータにおいて、同一磁極を形成する内側磁石と外側磁石とを、少なくともこのロータと対向するステータのスロットオープニング幅以上の間隔をもたせて配置したものであり、これによりロータの回転に伴うステータコイルのインダクタンスの変化が、スロットオープニングに起因するリプルが少なくなるとともに、最大と最小の幅が大きいものとなり、q軸電流によるリラクタンストルクを大きくすることができ、またこのリラクタンストルク成分を任意に調整することも可能となる。

【0027】また内側磁石と外側磁石との間にロータコア以外の磁性材料を介在させることにより、ロータコアとの間に大きなギャップを生じることなく永久磁石を装着することができるとともに、高透磁率、高周波特性、高飽和磁束密度等の特性を有する磁性材料を選択採用すること

とができる。さらに同一磁極を形成する全ての永久磁石の磁気配向を、ロータ軸心と当該磁極中央をラジアル方向に結ぶ線と平行な方向とすること、またはロータ軸心と当該磁極中央をラジアル方向に結ぶ延長線上であって、少なくとも焦点がロータ外周面より外側となる方向とすること、さらには該焦点を各永久磁石相互で異ならせることによって、エアギャップにおける磁束分布をIPMの使用目的に適した分布に操作することが容易となり、騒音や振動を低減したりモータ効率を向上させたりすることが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施例を示すブラシレスDCモータの平面断面図。

【図2】図1の要部拡大図。

【図3】図1のブラシレスDCモータにおける作用を示す要部拡大説明図。

【図4】ロータの回転角度 $\theta$ に対するステータコイル端子間のインダクタンスLの関係を示す図。

【図5】本発明の第2実施例を示すブラシレスDCモータのロータの要部平面断面図。

【図6】本発明の第3実施例を示すブラシレスDCモータのロータの平面断面図。

【図7】本発明の第4実施例を示すブラシレスDCモータのロータの平面断面図。

【図8】本発明の第5実施例を示すブラシレスDCモータのロータの平面断面図。

【図9】IPMにおける円周方向距離L<sub>g</sub>に対するエアギャップ磁束密度Bの分布の関係を示す図。

【図10】本発明の第6実施例を示すブラシレスDCモータの平面断面図。

【図11】従来例を示すブラシレスDCモータのロータの平面断面図。

【図12】別の従来例を示すブラシレスDCモータのロータの平面断面図。

【図13】IPMにおける時間tに対するステータコイルに鎖交する磁束量 $\Phi$ 及び誘起電圧vの関係を示す図。

【符号の説明】

1a～1e ロータコア

2a～2w 永久磁石

3 シャフト

4 ステータコア

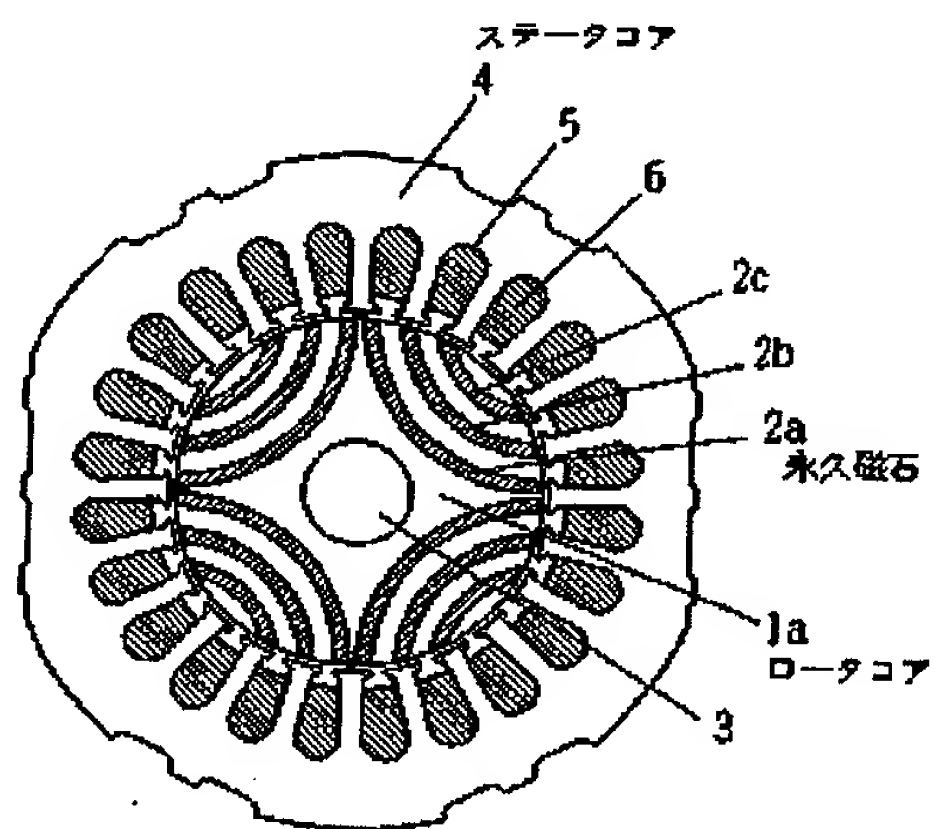
5 ステータスロット

6 ステータコイル

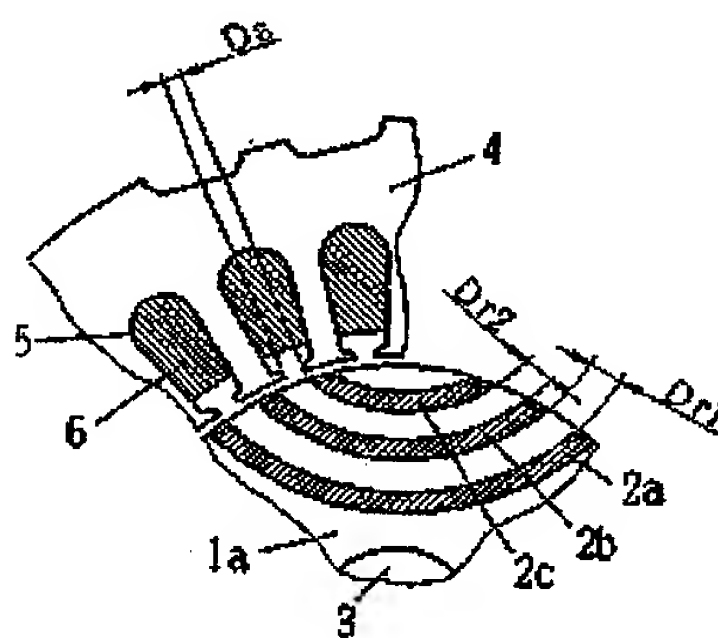
7 磁性材料

9 スロットオープニング

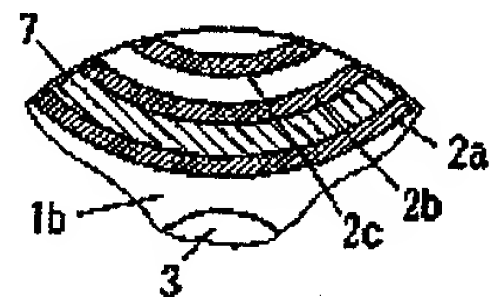
【図1】



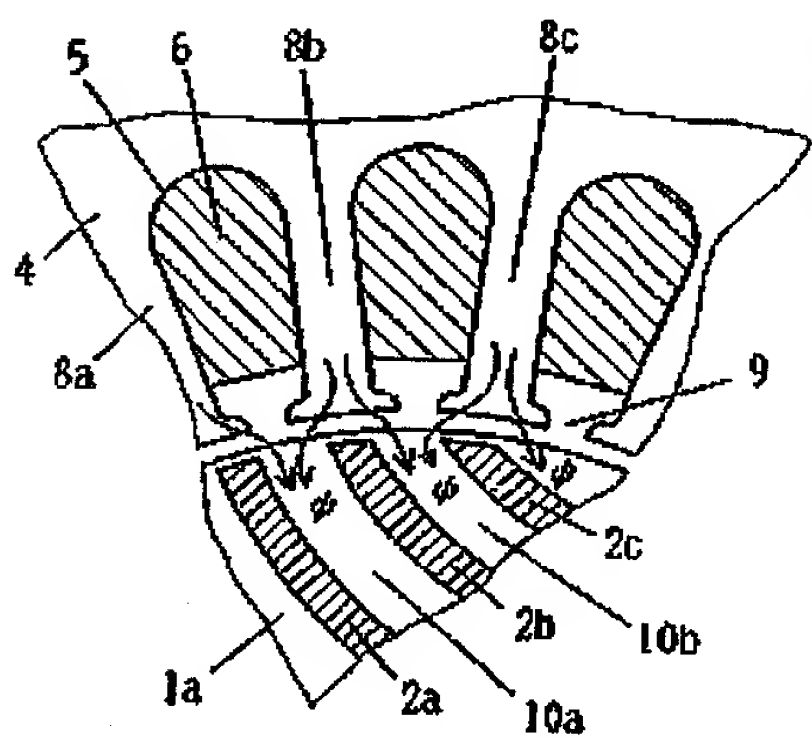
【図2】



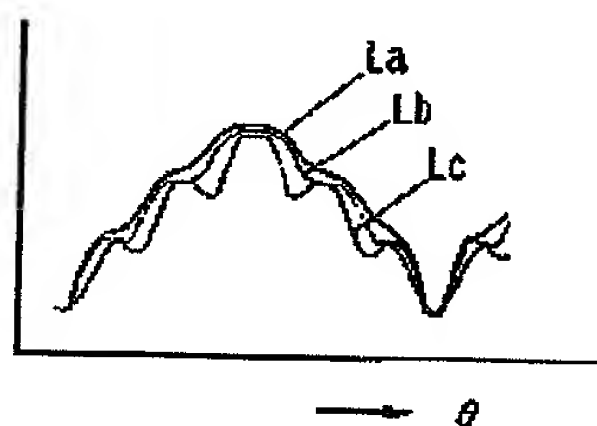
【図5】



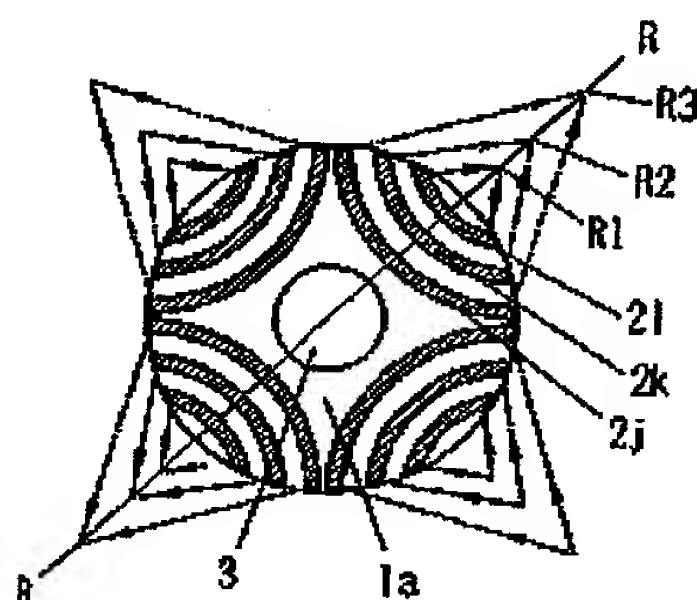
【図3】



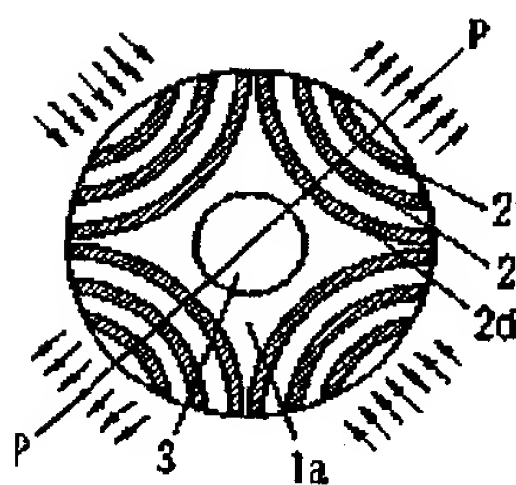
【図4】



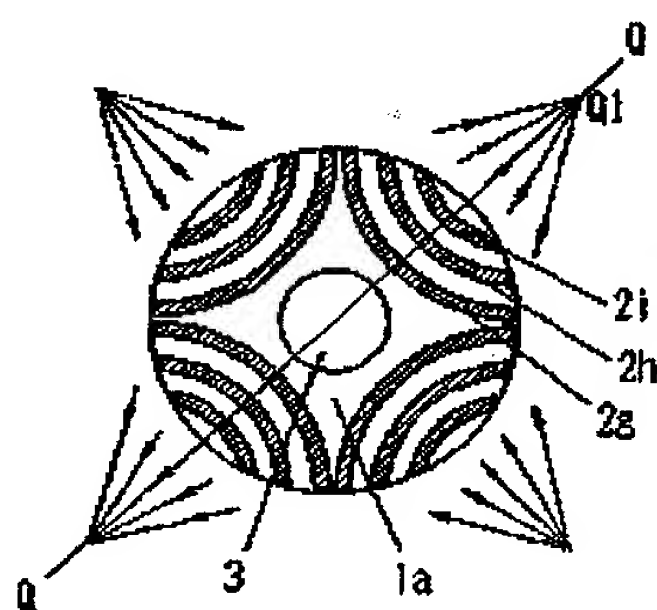
【図8】



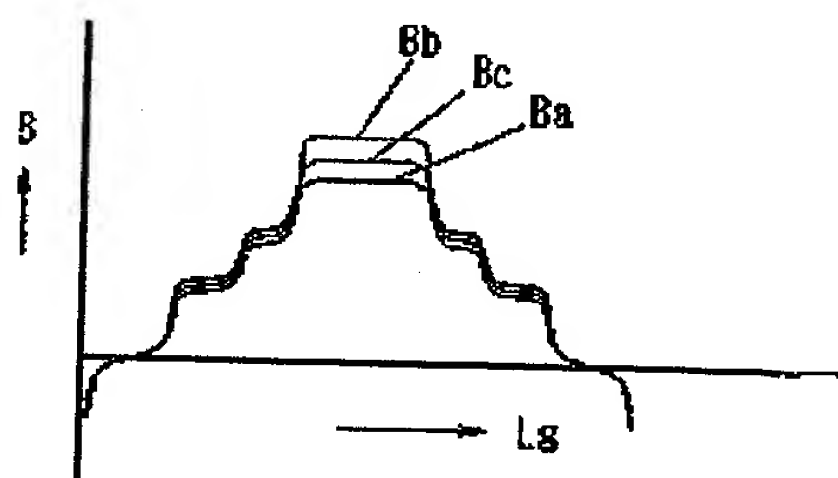
【図6】



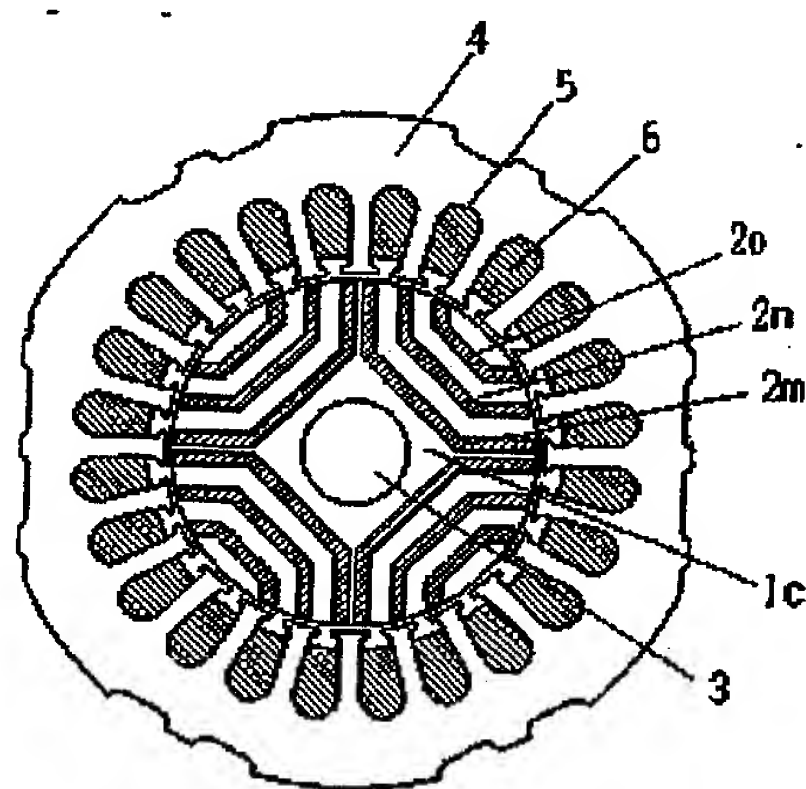
【図7】



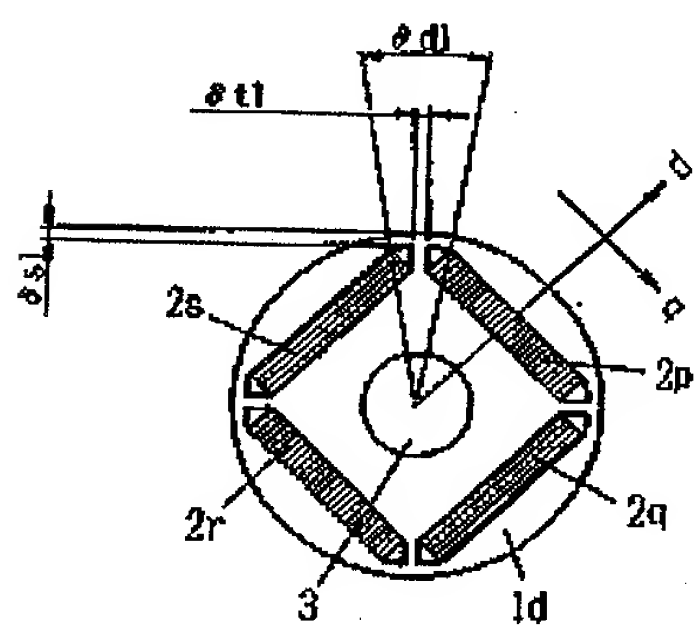
【図9】



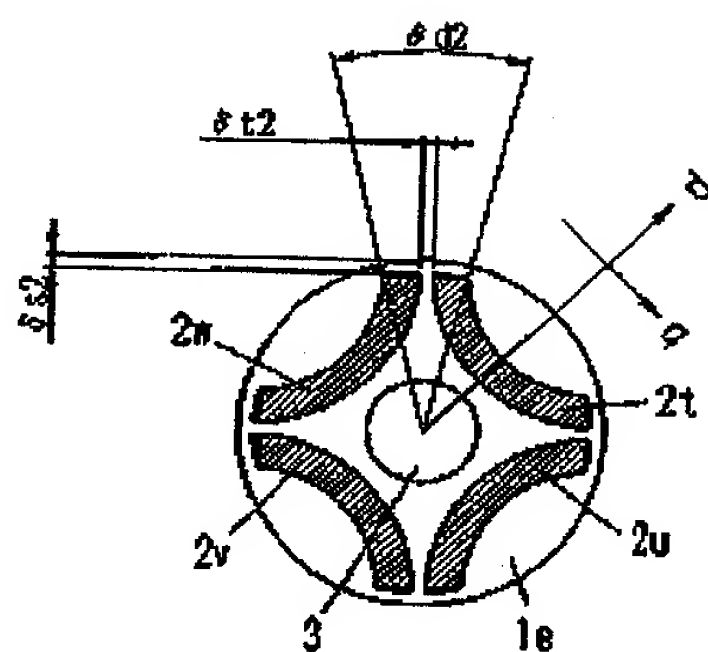
【図10】



【図11】



【図12】



【図13】

